

## PENGARUH PANJANG SERAT TERTANAM TERHADAP KEKUATAN GESER *INTERFACIAL* KOMPOSIT SERAT BATANG MELINJO- MATRIKS RESIN EPOXY

**Sri Chandrabakty**

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tadulako  
Jl. Sukarno-Hatta Km.9 Tondo, Palu 94119  
Email: [chandrabakty@fatek.untad.ac.id](mailto:chandrabakty@fatek.untad.ac.id)

### Abstract

*This research is aimed to understand the effect of length-embedded fibres to interfacial shear strength on epoxy resin composite reinforced "melinjo" stem fibres. Pull-out testing was performed with variation of length-embedded fibres including 1 mm, 3mm, and 5mm. Prior to pull-out testing, fibres were treated with boiling with water media and 5% NaOH media. The results showed that fibres with surface treatment using boiling of 5%NaOH have higher interfacial fibre shear strength, but fibres without surface treatment have lower interfacial fibre shear strength. For length - embedded fibre, the highest interfacial fibre shear strength were obtained on the length-embedded fibre respectively from 1 mm, then 3 mm and 5mm.*

**Keyword:** *Serat Batang Melinjo, Pull-Out, IFSS.*

### PENDAHULUAN

Pemanfaatan serat alam baik dari segi teknis maupun sebagai produk pertanian non-pangan telah lama dikembangkan. Meskipun pemanfaatan serat alam sebagai penguat sempat mengalami penurunan setelah dikembangkannya serat sintetis, namun kembali memainkan peranan utama dalam pengembangan serat dengan adanya perubahan ke arah penggunaan bahan alam yang berbasis ekonomi sebagai konsekuensi dari Kyoto Protocol terhadap perubahan iklim global (UN FCC 1997).

Meningkatnya penggunaan bio-komposit dalam bidang rekayasa material tidak terlepas dari isu mengenai dampak lingkungan dan keberlanjutan dari sumber serat. Serat alam (misalnya flax, hemp, sisal, abaca, dll.) merupakan serat alternatif bagi serat sintetis, mampu menurunkan tingkat CO<sub>2</sub> di udara, kemampuan serat untuk dapat terurai oleh bakteri (*biodegradability*) dan sifat mekanis

yang dapat disandingkan dengan serat sintetis.

Terdapat beberapa alasan menggunakan serat alam sebagai penguat komposit, menurut Mallick (2007), sebagai berikut:

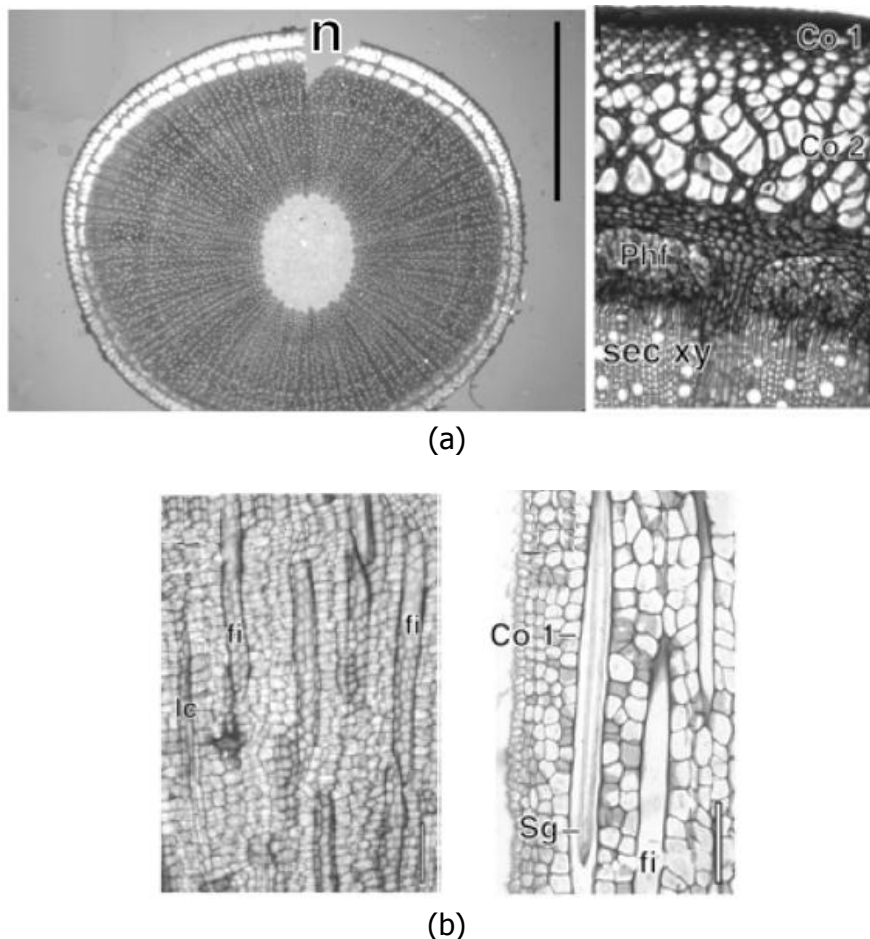
- a. Lebih Ramah Lingkungan dan *biodegradable*, dibandingkan serat sintetis.
- b. Berat Jenis Serat alam lebih kecil.
- c. Pada beberapa jenis serat alam mempunyai rasio berat-modulus lebih baik serat *E-glass*.
- d. Komposit serat alam mempunyai daya redam akustik lebih tinggi dibanding komposit serat glass dan serat karbon dan,
- e. Serat alam lebih ekonomis dibanding serat glass dan serat karbon.

Pohon melinjo (*Gnetum Gnemon*) merupakan tumbuhan khas Asia

Tenggara di mana pertumbuhannya menyebar dari semenanjung Asia Tenggara, Kepulauan Indonesia, Philipina hingga ke Melanesia. Pohon ini cukup mudah berkembang biak pada daerah dengan ketinggian 1700 m di atas permukaan laut. Tinggi pohon dapat mencapai 15 m dengan diameter batang hingga 40 cm. Serat batang pohon melinjo telah digunakan secara tradisional oleh masyarakat, misalnya di pedalaman Malaysia telah digunakan sebagai tali kekang kuda, masyarakat Pulau Sumba memanfaatkan sebagai

tali busur panah dan masyarakat pantai Papua Nugini menggunakan sebagai tali pancing dan jaring ikan.

Tomlinson (2003) melaporkan, terdapat tiga jenis topografi serat batang melinjo dalam tiga kategori diameter. Untuk Serat pada bagian *Cortex* 1 ( $Co_1$ ) diameter rata-rata 21  $\mu m$  (kisaran 15–30  $\mu m$ ); Bagian *Cortex* 2 ( $Co_2$ ) diameter rata-rata 51.5  $\mu m$  (kisaran 42.5–67  $\mu m$ ); dan untuk serat bagian *phloem* ( $Ph_f$ ) diameter rata-rata 27  $\mu m$  (kisaran 22.5–32.5  $\mu m$ ).



Gambar 1. Penampang serat batang melinjo, (a) penampang melintang, (b) penampang membujur (Tomlinson. 2003)

Semua serat alam *cellulose* memiliki sifat yang sangat mampu menyerap air dari lingkungan bebas yang disebut sifat *hydrophilic*. Kandungan air yang tinggi dapat

menurunkan daya rekat dengan matrik polimer yang bersifat *hydrophobic* (Marsyahyo, 2009). Chandrabakty (2009) melaporkan, bahwa serat batang melinjo mempunyai kandungan

air (*moisture content*) berkisar antara 6.20% - 10.42%.

Sifat mekanis serat dari tumbuhan (*plant fibers*) sangat terkait dengan jumlah *cellulose*, di mana sangat berhubungan dengan *crystallinity* dari serat dan sudut *micro-fibril* terhadap sumbu serat utama. (Sreekala dkk., 1997). Menurut Mohanty dkk (2005) *Cotton*, *flax*, dan rami memiliki derajat *crystallinity* tertinggi (65–70 %). Sifat *crystalline* dari serat dihasilkan dari ikatan hidrogen antara rantai *cellulosic*, namun dalam beberapa ikatan hidrogen juga muncul pada fase *amorphous*. Dari hasil penelitian sebelumnya komposisi kimia serat batang melinjo diukur dengan mengacu pada ASTM D 1107-56, diperoleh komposisi kimia seperti yang ditunjukkan pada tabel 1

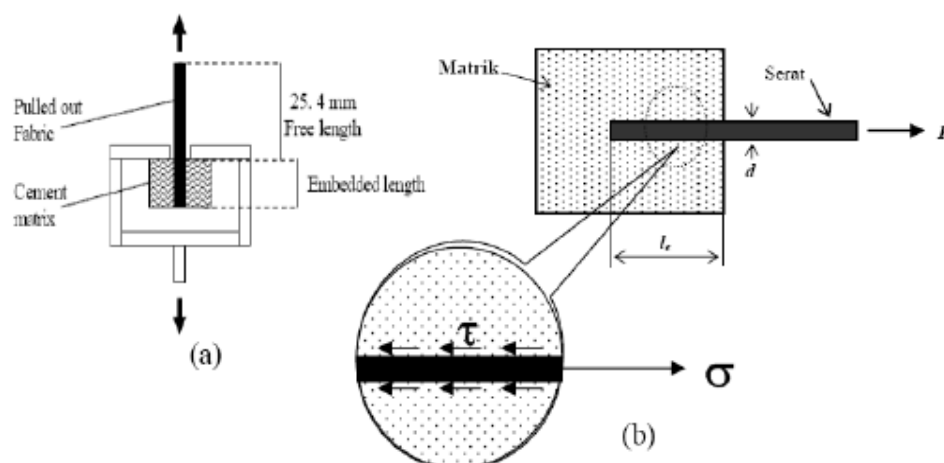
Tabel 1. Komposisi kimia Serat batang melinjo (*Gnetum Gnetum*) (Chandrabakty, 2009)

Komponen	Persentase (w/w)
Hemisellulosa	24.02%
Alfasellulosa	39.3%
Lignin	9.82%

Ekstraktif Benzene	3.08%
--------------------	-------

Kekuatan ikatan antar muka serat sangat berpengaruh terhadap kerja bahan komposit dengan penguatan serat. Hal ini disebabkan oleh terjadinya kombinasi *dissimilar* bahan penyusun komposit yang memiliki sifat mekanis dan kimia berbeda. Metode untuk menentukan kekuatan *interface* ditempuh antara lain melalui uji *microbond/pull-out*, Uji fragmentasi serat tunggal dan multi-serat serta uji *microindentation* (Marsyahyo, 2009).

Pengujian *pull-out* dilakukan untuk mendapatkan tegangan geser antar-muka antara serat dan matrik, serta memberi informasi perilaku kegagalan serat-matrik akibat kompatibilitas dua bahan yang rendah. Prosedur uji *pull-out* secara sederhana dapat dijelaskan dari Gambar 2.(a), di mana serat tunggal ditanam di dalam matrik dengan kedalaman tanam sebesar  $l_x$  kemudian diberi beban tarik axial sebesar  $P$ . Beban  $P$  diharapkan mampu mencabut serat yang tertanam dan diasumsikan tegangan geser di sepanjang permukaan serat tertanam adalah seragam.



Gambar 2. Mekanisme uji *pull-out* (a) Spesimen uji *pull-out* serat tunggal dan (b) Keseimbangan gaya tarik dan geser *interfacial* antara serat dan matrik (Marsyahyo, 2009)

Jacob dkk (2005) melaporkan, terdapat dua aspek utama yang akan diperoleh dari uji *pull-out* yakni (1) inisiasi perilaku debonding atau terlepasnya serat dari matrik pengikatnya yang menunjukkan permukaan serat tidak mampu dilapisi matrik secara sempurna dan (2) tercabutnya serat dari matrik yang gagal melawan gesekan antara permukaan serat dan matrik akibat beban tarik yang dikenakan.

Nilai tegangan geser antara matrik dan serat dapat dihitung dari besarnya beban yang digunakan untuk memutuskan/mencabut serat dari matrik dengan menggunakan persamaan:

$$\tau = \frac{F}{\pi \cdot d \cdot l_x} \quad (1)$$

Di mana,  $F$  adalah beban maksimum,  $d$  adalah diameter fiber, dan  $l_x$  adalah panjang serat tertanam.

Panjang kritis serat merupakan indikator yang baik bagi kemampuan dari *interphase* untuk meneruskan beban diantara dua unsur. Dengan asumsi tegangan geser yang dialami permukaan serat adalah sama pada setiap titiknya, sehingga dari model Kelly-Tyson diperoleh persamaan:

$$\sigma = \frac{4}{d} \cdot \tau_y \cdot x \quad (2)$$

Dengan asumsi bahwa tegangan maksimum serat terjadi pada  $x = l/2$ , sehingga persamaan menjadi:

$$\sigma_f \max = \frac{4}{d} \cdot \tau_y \cdot \frac{l_x}{2} = \frac{2 \cdot \tau_y \cdot l_x}{d} \quad (3)$$

Secara kualitatif, persamaan (3) di atas menunjukkan semakin pendek serat yang tertanam namun mampu memberikan kekuatan ikatan geser

*interfacial* serat-matrik maka menghasilkan komposit dengan transfer beban yang lebih efektif dibandingkan serat ukuran panjang namun kekuatan geser *interfacial* rendah.

Hipotesis pengaruh panjang serat pada komposit serat matrik polimer dapat dirumuskan bahwa peningkatan kekuatan geser interfacial serat-matrik pada komposit matrik polimer dipengaruhi oleh kekuatan tarik serat tunggal, panjang kritis serat, model patahan serat tunggal dan perilaku ikatan mekanis *interlock* di daerah *interface* antara permukaan serat dan matrik.

Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh material bio-komposit baru dengan bahan dasar dari alam, mengetahui pengaruh panjang tertanam dari serat melalui uji *pull-out* yang memberikan harga tegangan geser antar-muka serat matrik. Di mana diyakini merupakan faktor penentu sifat ketangguhan dan kekuatan *inter-laminate* komposit.

## METODE PENELITIAN

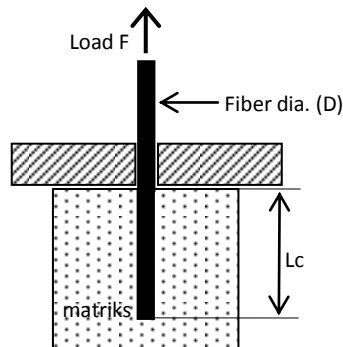
Bahan penelitian menggunakan serat batang melinjo (Gnetum Gnemon). Serat batang dipilih dari pohon yang berumur di atas 5 tahun atau dengan diameter batang  $\pm 15$  cm. Serat yang di uji diambil dari bagian batang pohon dengan ketinggian 100 cm dari atas tanah untuk mendapat keseragaman serat. Matriks yang digunakan adalah Polimer thermoset (epoxy-resin) merek "Eposchön" yang dipasarkan oleh PT JUSTUS KIMIARAYA.

Serat yang akan diteliti dibedakan dalam 3 tipe perlakuan yaitu; (1) serat *Untreated* (UT) atau serat yang tidak mengalami perlakuan pada saat penguraianya, (2) serat dengan

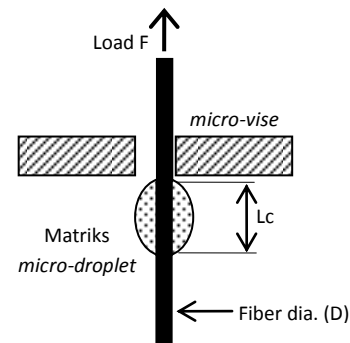
perlakuan perebusan dengan air biasa, masing-masing selama 60, 120 dan 180 menit dan (3) serat dengan perlakuan rebus air yang dicampur dengan larutan NaOH 5% masing-masing selama 60, 120, 180 menit.

Pengujian pull-out dilakukan untuk mengetahui sifat mampu rekat antara

serat-matrik dari bio-komposit. Pada pengujian ini panjang serat tertanam divariasikan masing-masing 1 mm, 3 mm dan 5 mm. Peralatan yang digunakan di desain sendiri untuk mengukur ikatan antara serat dan matriks.



a. Fiber pull-out test



b. Fiber micro-bonding test

Gambar 3. Model Pengujian Pull-out Serat

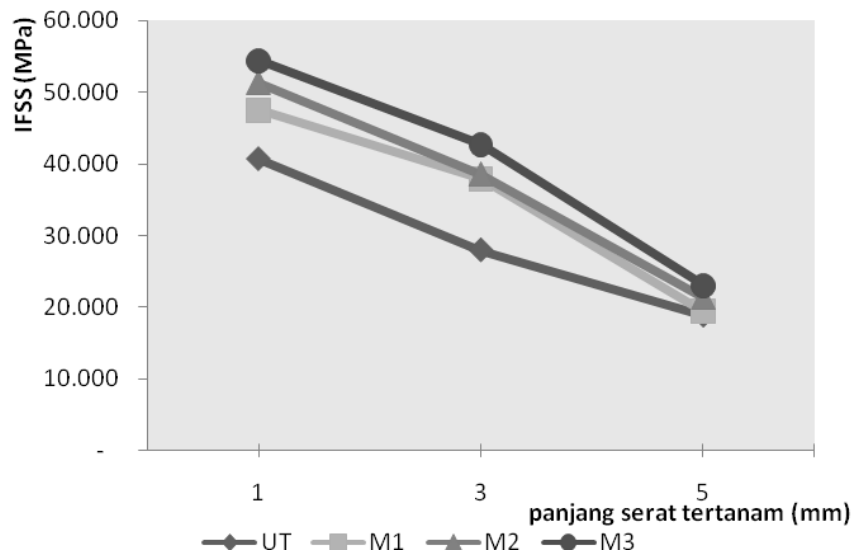
Dari hasil pengujian pull-out akan didapatkan berupa (i) kriteria kekuatan geser ditunjukkan oleh kekuatan tarik axial dari panjang serat yang tertanam dan (ii) kegagalan mekanis serat matrik ditunjukkan oleh model patahan serat di sepanjang serat yang tidak tertanam, debonding serat yang tertanam di dalam matrik dan *micro-cracking* matrik dengan cara visual *scanning electron micrographic*.

## HASIL DAN DISKUSI

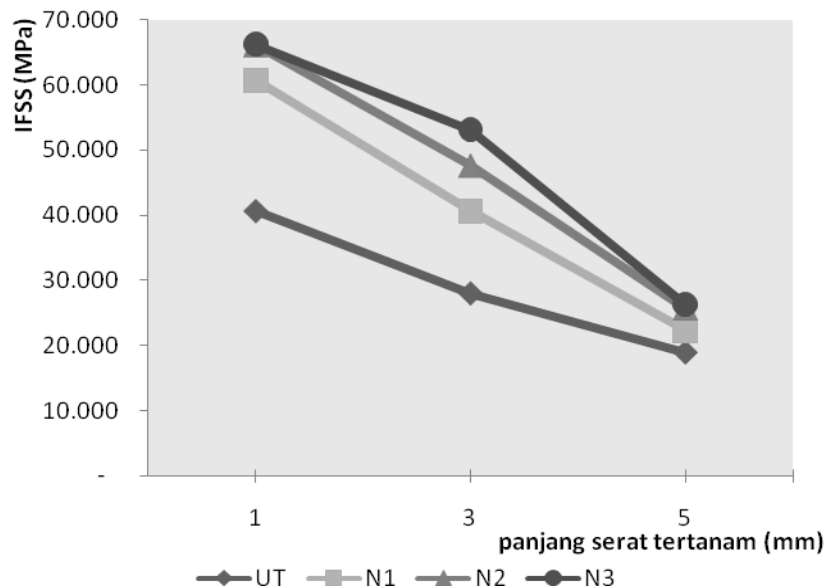
Dari hasil pengujian pull-out yang diberikan pada serat untreated (UT), serat dengan perlakuan rebus dengan media air dengan lama 60, 120, 180 menit (M1, M2 dan M3), serta serat dengan perlakuan rebus dengan media NaOH 5% selama 60, 120, 180 menit (N1, N2 dan N3), diperoleh nilai tegangan geser antar muka (*Interfacial*

*Strength Stress*, IFSS) mengalami kecenderungan menurun seiring dengan bertambahnya panjang tertanam serat. Hal ini bisa diamati pada gambar 4 dan gambar 5, grafik penurunan tersebut identik dengan distribusi tegangan geser yang terjadi sepanjang permukaan serat meskipun tegangan tarik serat adalah maksimum yakni kekuatan tarik serat saat patah dan gaya geser sepanjang serat seragam.

Menurut Meurs (1998) tegangan geser antar-muka tergantung dari panjang serat tertanam, di mana semakin panjang serat tertanam semakin menurun daya rekat permukaan serat-matrik tetapi akan meningkatkan ketahanan gesekan. *Debonding* dapat terjadi jika tegangan geser di daerah *interface* serat-matrik lebih besar dari daya rekat (*bonding strength*) permukaan serat-matrik.



Gambar 4. Pengaruh panjang serat tertanam terhadap kekuatan geser *interfacial* pada serat untreated (UT) dan serat yang mengalami perlakuan rebus media air (M1, M2 dan M3)



Gambar 5. Pengaruh panjang serat tertanam terhadap kekuatan geser *interfacial* pada serat untreated (UT) dan serat yang mengalami perlakuan rebus media NaOH 5% (N1, N2 dan N3)

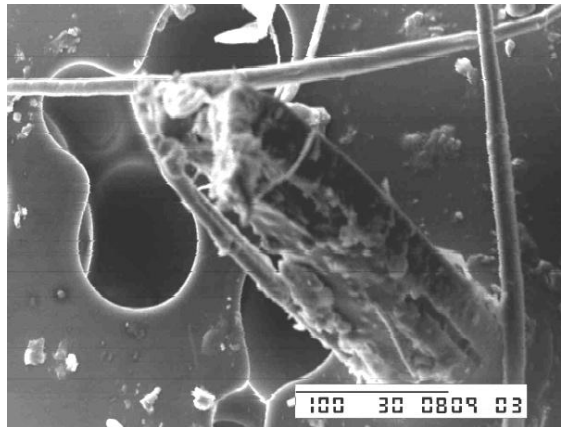
Hasil pengujian *pull-out* pada serat dengan panjang tertanam  $l_x = 1$  mm menunjukkan nilai kekuatan geser lebih tinggi pada serat dengan perlakuan yaitu untuk media NaOH 5% sebesar 66,42 MPa dan media air sebesar 54,39 MPa, sementara serat tanpa perlakuan (UT) sebesar 40,71 MPa.

Untuk panjang serat tertanam  $l_x = 3$  mm, tegangan geser antar-muka tertinggi dicapai oleh serat dengan perlakuan NaOH 5% selama 180 menit (N3) sebesar 53,09 MPa dan terendah dicapai oleh serat tanpa perlakuan (M3) sebesar 28,02 MPa. Sedangkan pada panjang serat tertanam  $l_x = 5$  mm,

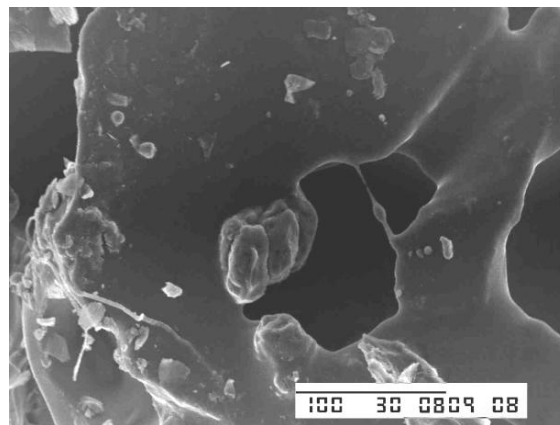
tegangan geser antar-muka tertinggi juga terjadi pada serat dengan perlakuan NaOH 5% selama 180 menit (N3) sebesar 26,28 MPa dan terendah terjadi pada serat tanpa perlakuan (UT) sebesar 18,89 MPa.

Pada hasil foto SEM menunjukkan bahwa serat tanpa perlakuan dan serat dengan perlakuan rebus media air mengalami serat tercabut dari matriksnya sementara serat dengan perlakuan rebus media NaOH 5% mengalami patah dan tidak tercabut dari matriksnya. Kondisi tercabut dan

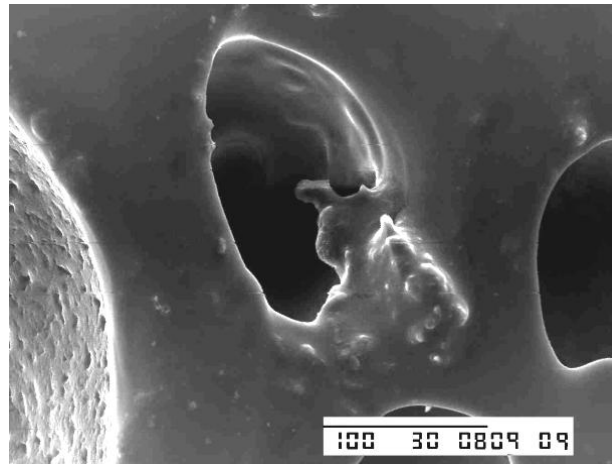
tidak tercabutnya serat ada tiga kemungkinan yakni (a) perlakuan NaOH 5% memberikan efek *wettability* permukaan serat terhadap matrik *epoxy*, (b) matrik *epoxy* tidak mempunyai waktu penetrasi kedalam pori-pori serat karena terhalang oleh masih adanya lignin impuritas serat yang lain dan (c) secara kimia perlakuan NaOH 5% terhadap permukaan serat menghasilkan kompatibilitas ikatan antar molekul permukaan serat-matrik lebih optimal dibanding dengan perlakuan rebus.



Gambar 6. Kondisi serat dengan perlakuan NaOH 5% mengalami patah dan tidak tercabut



Gambar 7. Kondisi permukaan matrik yang mengalami kegagalan dengan serat dengan perlakuan rebus dan terlihat butiran-butiran pecahan matrik



Gambar 8. Kondisi matrik dengan serat tanpa perlakuan yang tercabut sempurna. Area permukaan tidak terlihat adanya *crack* yang menandakan serat tercabut dengan mudah.

Meskipun secara mekanis matrik *epoxy* mampu mengikat serat namun kegagalan lebih didominasi oleh rendahnya kemampuan matrik mentransfer tegangan sepanjang permukaan serat sehingga serat mudah tercabut.

Ditinjau dari mekanika kegagalan interaksi serat-matrik, Kim dan May (1998) menjelaskan perilaku *load transfer* distribusi tegangan di daerah *interface* sebagai berikut:

1. sebagian serat yang berfungsi sebagai media penguatan pada komposit matrik hanya menerima tegangan tarik;
2. sebagian matrik yang berfungsi mengikat serat juga menahan tegangan geser permukaan serat.

## KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa:

1. Meningkatnya tegangan geser interfacial pada permukaan serat dipengaruhi oleh jenis dan lama perlakuan serta panjang serat tertanam. Tegangan geser

interfacial tertinggi didapatkan pada serat dengan perlakuan NaOH 5% selama 180 menit (N3) dengan panjang serat tertanam 1 mm sebesar 66,242 MPa dan terendah pada serat tanpa perlakuan (UT) 18,891 MPa dengan panjang serat tertanam 5 mm.

2. Dari pengamatan foto SEM hasil uji *pull-out*, kegagalan serat melinjo-epoxy memperlihatkan serat tercabut pada kedalaman serat tertanam 3 dan 5 mm dan dinding di sekitar panjang serat tertanam terlihat mampu-rekat permukaan serat dengan matrik epoxy yang rendah. Perilaku ini disebabkan oleh kecenderungan kemampuan adhesi antara serat matrik yang optimal dan pengaruh iregularitas sifat mekanis, kimia dan fisika di sepanjang permukaan serat.

## DAFTAR PUSTAKA

Anonim, ASM Handbook volume 21, 2001, *Composite*, ASM International Handbook Committee.



- Akovali, G, 2001, *Handbook of Composite Fabrication*, RAPRA Technology, Ltd. Ankara.
- Chandrabakty, 2009, *Pengaruh Perlakuan Permukaan Serat Batang Melinjo (Gnetum Gnemon) Terhadap Wettability dan Kemampuan Rekat dengan Matrik Epoxy-Resin*, Thesis, Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.
- Clyne, T. W., and Jones, F.R., 2001, *Composites Interfaces, Encyclopedia of Materials*, Science and Technology, Elsevier.
- Doan, T. T. L., 2006, *Investigation on jute fibres and their composites based on polypropylene and epoxy matrices*, Dissertation Der Fakultät Maschinenwesen Der Technischen Universität Dresden.
- Dorn, L. 1994, *Adhesive Bonding-Terms and Definitions*, TALAT Lecture 4701, European aluminium Association, Berlin.
- Kim, J.K., May, Y.W., 1998, *Engineered Interfaces in Fiber Reinforced Composites*, ed.1, Elsevier.
- Korte S. 2006 , *Processing-Property Relationships of Hemp Fibre*, A thesis Degree of Master of Engineering, University of Canterbury.
- Lee, H. J., 2007, *Design and Development of Superhydrophobic Textile Surfaces. A dissertation* , Faculty of North Carolina State University
- Mallick, P.K. , 2007, *Fiber-reinforced composites : materials, manufacturing, and design* 3rd ed. CRC Press Taylor & Francis Group.
- Manner H. I. dan Elevitch C. R., 2006. *Gnetum gnemon (gnetum), Species Profiles for Pacific Island Agroforestry* (www.traditionaltree.org). tanggal penelusuran 04 September 2008.
- Marsyahyo E., 2009, *Perlakuan Permukaan Serat Rami (Boehmeria nivea) dan kompatibilitas serat-matrik pada komposit matrik polimer*. Disertasi, Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.
- Matthews R.L, Rawlings R.D. 1994, *Composite Materials Engineering and Science*, Chapman & Hall.
- Meurs, P. F. M., 1998, *Characterization of Microphenomena in Transversely Loaded Composite Materials*, Thesis, University Eindhoven,
- Mohanty A.K., Misra M. dan Hinrichsen G. 2000a. *Biofibers, biodegradable polymers and biocomposites: An overview*. Macromolecular Materials and Engineering 276/277:1-24.
- Mohanty A.K., Misra M. dan Drzal L.T., 2005. *Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites*. Taylor & Francis.